

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08210635
PUBLICATION DATE : 20-08-96

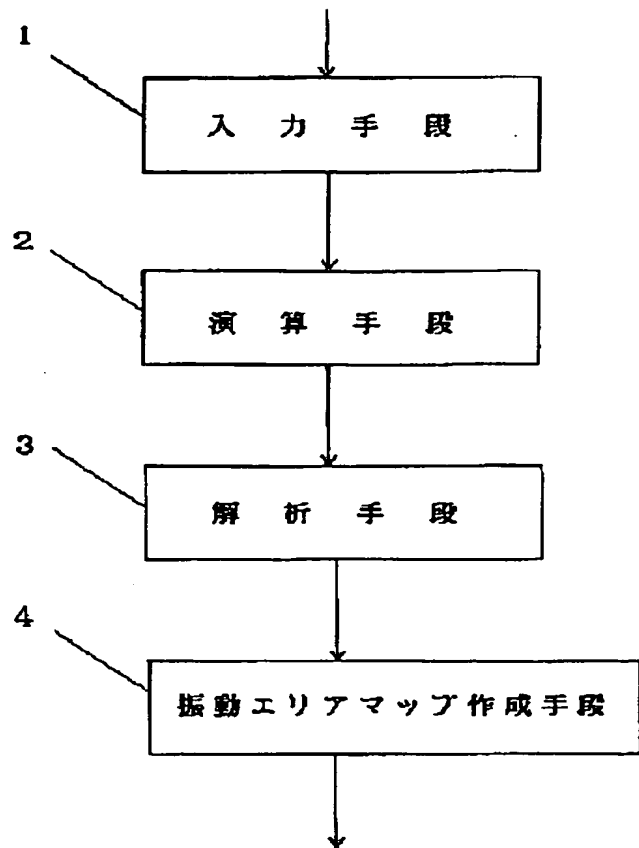
APPLICATION DATE : 25-10-95
APPLICATION NUMBER : 07277995

APPLICANT : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : KATO HIROHISA;

INT.CL. : F23N 5/24 // G06F 17/50

TITLE : VIBRATING COMBUSTION ANALYZER
AND MANUFACTURE OF BURNER



ABSTRACT : PURPOSE: To further efficiently design a burner as compared with prior art by previously predicting to decide the conditions of whether a vibrating combustion occurs or not at the stage of designing the burner, and utilizing the decided result.

CONSTITUTION: Input means 1 inputs the shape of a burner as an object to be designed, sound velocity and mixed gas density in the burner as input data. The input data include the shape, the dimensions, and the temperature conditions of elements for forming the burner such as a heat exchanger, a blower, a gas supply passage. Calculating means 2 is means for solving a wave equation over the entire burner based on the input data from the means 1, obtaining the n-th degree intrinsic frequency of the burner and obtaining the pressure distribution in the burner with respect to the frequency. Analyzing means 3 analyzes whether the vibrating combustion occurs or not for the burner based on the position of the flame input from the means 1 and a predetermined reference from the pressure distribution obtained by the means 2.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-210635

(43) 公開日 平成8年(1996)8月20日

(51) Int. Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	P I	技術表示箇所
F 2 3 N 5/24	1 0 6 Z			
// G 0 6 F 17/50			G 0 6 P 15/ 00	6 1 2 G

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 23 頁)

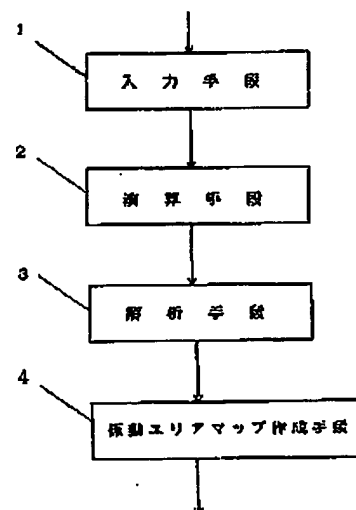
(21) 出願番号	特願平7-277995	(71) 出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22) 出願日	平成7年(1995)10月25日	(72) 発明者	中本 充廣 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平6-283875	(72) 発明者	加藤 博久 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(32) 優先日	平6(1994)11月17日	(74) 代理人	弁理士 松田 正道
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 振動燃焼解析装置、及び燃焼器の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 燃焼器の設計段階で、振動燃焼が発生するか否かの条件を事前に予測することが出来ないため、設計段階での試行錯誤の時間がかかり、しかも振動燃焼を抑制しつつ、低NOX、低騒音等の燃焼器を設計出来ないという課題。

【解決手段】 少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段1と、入力データに基づいて、燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求める演算手段2と、得られた燃焼器内の火炎の位置と、演算手段2により求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段3と、振動燃焼が発生する領域及び/又は振動燃焼が発生しない領域を作成する振動エリアマップ作成手段4を備える。



(2)

特開平 8-210635

1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、

前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び／又は速度分布を求める演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた圧力分布及び／又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段と、を備えていることを特徴とする振動燃焼解析装置。

【請求項 2】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、

前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求める固有振動数演算手段と、

前記固有振動数の演算結果を格納するための固有振動数メモリ部と、

前記固有振動数メモリ部から呼び出した各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び／又は速度分布を求める圧力／速度演算手段と、

前記圧力分布及び／又は速度分布の演算結果を格納するための圧力／速度メモリ部と、

前記燃焼器内の火炎の位置を計算する火炎位置演算手段と、

前記火炎の位置の演算結果を格納するための火炎位置メモリ部と、

火炎位置メモリ部から呼び出した前記燃焼器内の火炎の位置と、前記圧力／速度メモリ部から呼び出した圧力分布及び／又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段と、を備えていることを特徴とする振動燃焼解析装置。

【請求項 3】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、

前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する局所インピーダンス分布を求める局所インピーダンス演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記局所インピーダンス演算手段により求められた局所インピーダンス分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段と、を備えていることを特徴とする振動燃焼解析装置。

【請求項 4】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、

前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する速度と圧力

2

の位相の分布を求める位相演算手段と、

得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた速度と圧力の位相とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段と、を備えていることを特徴とする振動燃焼解析装置。

【請求項 5】前記所定の判定基準とは、前記演算手段により圧力分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の振動燃焼解析装置。

【請求項 6】前記所定の判定基準とは、前記演算手段により速度分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の振動燃焼解析装置。

【請求項 7】前記局所インピーダンス演算手段により求められた前記局所インピーダンスの分布は、前記局所インピーダンスの絶対値の分布であり、

前記所定の判定基準とは、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、その基準方向に進む程、前記局所インピーダンスの絶対値がより増加する範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記範囲内に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準であることを特徴とする請求項 3 記載の振動燃焼解析装置。

【請求項 8】所定の判定基準とは、前記求められた位相が -90° ($-\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記求められた位相が $+90^\circ$ ($+\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準であることを特徴とする請求項 4 記載の振動燃焼解析装置。

【請求項 9】前記解析手段により得られたデータを格納する振動メモリ部と、その振動メモリ部に格納されたデータ及び前記演算手段による演算結果を利用して、前記分布を表示するための表示手段と、を有することを特徴とする請求項 1～4 の何れか一つに記載の振動燃焼解析装置。

【請求項 10】前記火炎の位置は、前記燃焼器の入口部とその火炎との間の実質的な距離 L_f と、前記燃焼器の

(3)

特開平8-210635

3

4

出口部とその火炎との間の実質的な距離 L_2 とにより表現され、

その距離 L_1 及び L_2 に対応して前記解析手段から出力される前記解析結果を得て、その解析結果の内容を前記距離 L_1 及び L_2 を数値とする座標系に対して与え、前記振動燃焼が発生する領域及び/又は前記振動燃焼が発生しない領域を作成する振動エリアマップ作成手段を備えたことを特徴とする請求項1～9の何れか一つに記載の振動燃焼解析装置。

【請求項11】前記振動エリアマップ作成手段は、前記振動燃焼が発生する領域及び/又は前記振動燃焼が発生しない領域のデータを格納するパラメータ振動マップを有することを特徴とする請求項1(1)記載の振動燃焼解析装置。

【請求項12】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力及び/又は速度と、前記燃焼器内の火炎の位置とを利用して、所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、

その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制又は生じない様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設け、又は、火炎の位置を調整することを特徴とする燃焼器の製造方法。

【請求項13】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、

その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制する様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設けることを特徴とする燃焼器の製造方法。

【請求項14】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布を求め、

得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動

燃焼が発生しないと判定し、

その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更することを特徴とする燃焼器の製造方法。

【請求項15】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の速度分布を求め、

得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた速度分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定し、

その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更することを特徴とする燃焼器の製造方法。

【請求項16】少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求め、

得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、

その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記火炎と前記燃焼器の上流側入口部との間の実質的な距離、及び/又はその火炎と前記燃焼器の下流側出口部との間の実質的な距離を調整することを特徴とする燃焼器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、産業用、民生用の燃焼器についての振動燃焼を解析出来る振動燃焼解析装置、及び燃焼器の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、産業用あるいは民生用の燃焼器の設計段階で振動燃焼がしばしば発生していた。

【0003】このような振動燃焼は、大きな騒音を伴うことと、燃焼が不安定になり安全面で問題があった。そのため、振動燃焼は防止しなければならず、送風機、バーナ、燃焼室を大きくすることにより振動燃焼の抑制がおこなわれてきた。

【0004】一方、最近の産業用、民生用の燃焼器で

(4)

特開平8-210635

5

は、その大きさをより小型にすること、燃焼ガスをよりクリーンにするためNOXやHCの排出を減少すること、又ターンダウンレシオ（燃料供給量の可変幅）をより拡大すること（以下これを、高ターンダウンレシオと呼ぶ）、低騒音燃焼を行なうこと等が要求されている。そしてこれらの要求を満足するため、高負荷燃焼や可燃限界近傍で燃焼させる技術が要求されている。

【0005】このような要求に伴い、振動燃焼の抑制がますます重要度を増してきた。

【0006】しかし、上述のような振動燃焼の抑制方法では、高負荷燃焼、高ターンダウンレシオ、低騒音、低NOXなどの高性能な特性を確保できない。

【0007】そこで所定の特性を確保するように、とりあえず燃焼器を試作し、そして、振動燃焼が発生した場合、再びその燃焼器を試行錯誤で改造するといった作業を繰り返して行ない、振動しない条件を探し出すことにより、振動燃焼を抑制していた。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の振動燃焼の抑制方法では、上述のように試行錯誤で改造するといった作業を繰り返して行なうため、燃焼器の設計段階における開発工数が多くなるといった欠点があった。

【0009】又、振動燃焼を回避する条件を探す作業が試行錯誤ゆえに、振動燃焼の抑制を優先すれば、上述した低NOX、低騒音、高負荷、高TDRなどの高性能を確保が犠牲になるという欠点があった。

【0010】又、振動燃焼の発生は予想が困難であり、振動燃焼が発生すると、上述した目標の高性能を確保することが困難になるといった課題があった。

【0011】本発明は、従来の振動燃焼の抑制方法のこのような課題を考慮し、燃焼器の設計段階で、振動燃焼が発生するか否かの条件を事前に予測することが出来、しかも、振動燃焼を抑制しつつ、低NOX、低騒音、高負荷、高TDRなどの特性を従来に比べてより一層高性能に確保出来る振動燃焼解析装置を提供することを目的とする。

【0012】又、本発明の他の目的は、燃焼器の設計段階で、振動燃焼が発生するか否かの条件を事前に予測判定し、その判定結果を利用することにより、従来に比べてより一層効率よく燃焼器を製造出来る燃焼器の製造方法を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求める演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた

6

圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段とを備えている振動燃焼解析装置である。

【0014】この本発明によれば、振動燃焼が発生するか否かの条件を事前に予測することが出来る。

【0015】又、他の本発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求める前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制する様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設ける燃焼器の製造方法である。

【0016】この本発明によれば、従来に比べてより一層効率よく燃焼器を製造することが出来る。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求める演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段とを備えている振動燃焼解析装置である。この発明では、入力手段が、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、演算手段が、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求め、解析手段が、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する。

【0018】請求項2に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求める固有振動数演算手段と、前記固有振動数の演算結果を格納するための固有振動数メモリ部と、前記固有振動数メモリ部から呼び出した固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求める圧力/速度演算手段と、前記圧力分布及び/又は速度分布の演算結果を格納するた

(5)

特開平8-210635

7

8

めの圧力/速度メモリ部と、前記燃焼器内の火炎の位置を計算する火炎位置演算手段と、前記火炎の位置の演算結果を格納するための火炎位置メモリ部と、火炎位置メモリ部から呼び出した前記燃焼器内の火炎の位置と、前記圧力/速度メモリ部から呼び出した圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段とを備えている振動燃焼解析装置である。この発明では、入力手段が、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、固有振動数演算手段が、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、固有振動数メモリ部が、前記固有振動数の演算結果を格納し、圧力/速度演算手段が、前記固有振動数メモリ部から呼び出した各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求め、圧力/速度メモリ部が、前記圧力分布及び/又は速度分布の演算結果を格納し、火炎位置演算手段が、前記燃焼器内の火炎の位置を計算し、火炎位置メモリ部が、前記火炎の位置の演算結果を格納し、解析手段が、火炎位置メモリ部から呼び出した前記燃焼器内の火炎の位置と、前記圧力/速度メモリ部から呼び出した圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する。

【0019】請求項3に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する局所インピーダンス分布を求める局所インピーダンス演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記局所インピーダンス演算手段により求められた局所インピーダンス分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段とを備えている振動燃焼解析装置である。この発明では、入力手段が、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、局所インピーダンス演算手段が、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する局所インピーダンス分布を求め、解析手段が、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記局所インピーダンス演算手段により求められた局所インピーダンス分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する。

【0020】請求項4に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力する入力手段と、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する速度と圧力の位相の分布を求める位相演算手段と、得られた、前記燃焼器内の火炎の位

置と、前記演算手段により求められた速度と圧力の位相とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する解析手段とを備えている振動燃焼解析装置である。この発明では、入力手段が、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、位相演算手段が、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する速度と圧力の位相の分布を求め、解析手段が、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記演算手段により求められた速度と圧力の位相とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析する。

【0021】請求項5に記載の発明は、前記所定の判定基準とは、前記演算手段により圧力分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である請求項1又は2記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、前記演算手段により圧力分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定する。

【0022】請求項6記載の発明は、前記所定の判定基準とは、前記演算手段により速度分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である請求項1又は2記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、前記演算手段により速度分布が求められた場合、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定する。

【0023】請求項7に記載の発明は、前記局所インピーダンス演算手段により求められた前記局所インピーダンスの分布は、前記局所インピーダンスの絶対値の分布であり、前記所定の判定基準とは、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、その基準方向に進む程、前記局所インピーダンスの絶対値がより増加する範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼

(6)

特開平 8-210635

9

が発生すると判定し、又、前記範囲内に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である請求項 3 記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、その基準方向に進む程、前記局所インピーダンスの絶対値がより増加する範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記範囲内に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定する。

【0024】請求項 8 に記載の発明は、所定の判定基準とは、前記求められた位相が -90° ($-\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記求められた位相が $+90^\circ$ ($\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である請求項 4 記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、前記求められた位相が -90° ($-\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記求められた位相が $+90^\circ$ ($\pi/2$) となる範囲内に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定する。

【0025】請求項 9 に記載の発明は、前記解析手段により得られたデータを格納する振動メモリ部と、その振動メモリ部に格納されたデータ及び前記演算手段による演算結果を利用して、前記分布を表示するための表示手段とを有する請求項 1~4 の何れか一つに記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、振動メモリ部が、前記解析手段により得られたデータを格納し、表示手段が、その振動メモリ部に格納されたデータ、及び前記演算手段による演算結果を利用して、前記分布を表示する。

【0026】請求項 10 に記載の発明は、前記火炎の位置は、前記燃焼器の入口部とその火炎との間の実質的な距離 L_1 と、前記燃焼器の出口部とその火炎との間の実質的な距離 L_2 とにより表現され、その距離 L_1 及び L_2 に対応して前記解析手段から出力される前記解析結果を得て、その解析結果の内容を前記距離 L_1 及び L_2 を変数とする座標系に対して与え、前記振動燃焼が発生する領域及び／又は前記振動燃焼が発生しない領域を作成する振動エリアマップ作成手段を備えた請求項 1~9 の何れか一つに記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、振動エリアマップ作成手段が、前記燃焼器の入口部とその火炎との間の実質的な距離 L_1 と、前記燃焼器の出口部とその火炎との間の実質的な距離 L_2 とにより表現された前記火炎の位置において、その距離 L_1 及び L_2 に対応して前記解析手段から出力される前記解析結果を得て、その解析結果の内容を前記距離 L_1 及び L_2 を変数とする座標系に対して与え、前記振動燃焼が発生する領域及び／又は前記振動燃焼が発生しない領域を作成する。

10

【0027】請求項 11 に記載の発明は、前記振動エリアマップ作成手段が、前記振動燃焼が発生する領域及び／又は前記振動燃焼が発生しない領域のデータを格納するパラメータ振動メモリ部を有する請求項 10 記載の振動燃焼解析装置である。この発明では、パラメータ振動メモリ部が、前記振動燃焼が発生する領域及び／又は前記振動燃焼が発生しない領域のデータを格納する。

【0028】請求項 12 に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力及び／又は速度と、前記燃焼器内の火炎の位置とを利用して、所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制又は生じない様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設け、又は、火炎の位置を調整する燃焼器の製造方法である。

【0029】請求項 13 に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び／又は速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び／又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制する様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設ける燃焼器の製造方法である。

【0030】請求項 14 に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定し、その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更する燃焼器の製造方法である。

【0031】請求項 15 に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振

(7)

特開平8-210635

11

動数に対する前記燃焼器内の速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた速度分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から鄰近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定し、その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、速度分布の腹の位置から鄰近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更する燃焼器の製造方法である。

【0032】請求項16に記載の発明は、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び/又は速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び/又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記火炎と前記燃焼器の上流側入口部との間の実質的な距離、及び/又はその火炎と前記燃焼器の下流側出口部との間の実質的な距離を調整する燃焼器の製造方法である。

【0033】以下、本発明にかかる実施の形態について図面を参照しながら説明する。

【0034】図1は、本発明の一実施の形態の振動燃焼解析装置の構成図である。

【0035】同図において、入力手段1は、設計対象としての燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度等とを入力データとして入力するためのものである。ここでの入力データとしては、具体的には、熱交換器、送風機、給気路、排気路等の燃焼器を構成する各要素の形状、寸法、温度条件、及び燃焼器内の火炎の位置等が挙げられる。演算手段2は、入力手段1からの入力データ（但し、火炎の位置についてのデータを除く）に基づいて、波動方程式を燃焼器全体にわたって解き、燃焼器のn次の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する燃焼器内の圧力分布を求めるための手段である。解析手段3は、入力手段1から入力される火炎の位置と、演算手段2により求められた圧力分布とから所定の判定基準に基づいて、上記燃焼器について振動燃焼が発生するか否かを解析するためのものである。尚、本明細書で、圧力分布とは、圧力変動の振幅の分布を表すものである。又、速度分布とは、速度変動の振幅の分布を表すものである。

【0036】ここで、所定の判定基準は、燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、演算手段2により求められた圧力分布の節の位置から腹の位置に向かう間に、上記火炎が存在する場合には、振動燃焼が

12

発生すると判定し、又、存在しない場合には、振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である。圧力分布以外に、速度分布、局所インピーダンスの分布、速度変動/圧力変動の位相の分布も所定の判定基準とすることができる。

【0037】速度分布の場合、燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、演算手段2により求められた速度分布の腹の位置から鄰近傍の位置に向かう間に、上記火炎が存在する場合には、振動燃焼が発生すると判定し、又、存在しない場合には、振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である。

【0038】局所インピーダンスの分布の場合、燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、演算手段2により求められた局所インピーダンスが増加する位置に上記火炎が存在する場合には、振動燃焼が発生すると判定し、又、存在しない場合には、振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である。

【0039】速度変動/圧力変動の位相の場合、 $-\pi/2$ の位置に上記火炎が存在する場合には、振動燃焼が発生すると判定し、又、存在しない場合には、振動燃焼が発生しないと判定するための判定基準である。

【0040】又、燃焼器内の火炎の位置は、上記入口部とその火炎との間の実質的な距離 L_1 と、上記出口部とその火炎との間の実質的な距離 L_2 とにより表現される。以下、距離 L_1 を火炎上流長さと呼び、距離 L_2 を火炎下流長さと呼ぶこともある。

【0041】振動エリアマップ作成手段4は、距離 L_1 、及び L_2 に対応して解析手段3から出力される解析結果を得て、その解析結果の内容を距離 L_1 、及び L_2 を変数とする直交座標系に対して与え、振動燃焼が発生する領域や振動燃焼が発生しない領域を作成するための手段である。ここでは、直交座標系の横軸に変数 L_1 を、縦軸に変数 L_2 を各々対応させている。

【0042】ここで、本実施の形態の動作説明に先立ち、本装置の提供が可能となった技術的背景について若干述べる。

【0043】後述するレーリーの振動条件から火炎を通過する音波は、火炎の前後において伝播速度が増加し、時間的遅れ即ち位相差を生じ、この時間的遅れが振動燃焼の発生条件に影響を与えることが、最近知られてきた。しかしながら、この時間的遅れは、従来理論的計算あるいは測定により調べられたが、未だ、解明されるに至らなかった。そのため、振動燃焼の発生を予測することが出来ず、振動燃焼の解析装置を開発することが出来なかった。

【0044】本実施の形態では、後述するように、家庭用バーナでこの時間的遅れを調べた結果、半波長以内であることが実験により見いだすことが出来たことにより、本実施の形態において一例として示す振動燃焼解析装置を提供することが出来ることとなったのである。

(8)

特開平8-210635

13

【0045】以上のように構成された本実施の形態の振動燃焼解析装置において、図1、図2を用いて動作を説明する。図2は本実施の形態のフローチャートである。

【0046】ステップ1：入力手段1（図1参照）により、燃焼機器の各要素部品の形状としての寸法と、各要素の温度分布と、そして燃料と空気の混合気密度 ρ とを演算手段2へ入力する。ここでの寸法としては、具体的には各要素部品の断面積 s や長さ l （ l はアルファベットの l を小文字で表したものである）である。温度分布と混合気密度 ρ を入力するのは、後述する演算手段による演算過程で必要となる音速 c を導き出すためである。

【0047】ここで、各要素部品に分解するのは、次の理由による。すなわち、振動燃焼は燃焼機器の空間で発生する定在波である。振動燃焼発生状況を知るには後述のように波動方程式を解くことになる。そこで、燃焼機器は3次元の形状であるため、燃焼機器を音響要素の組み合わせとして分解する。

【0048】ステップ2：入力手段1からの入力データを基に、周波数を与え、波動方程式（図3（a）～（d）参照）を各音響要素ごとに解き、全要素を結合して解く。

【0049】図3（a）は本実施の形態の一次元（音響）波動方程式を、図3（b）は（音響）要素の式を表している。又、図3（c）は（音響）要素の模式図であり、図中の左側端部が入口、右側端部が出口（out）である。A～Dは要素の四端子定数である。図3（d）は全要素の式すなわち n 個の要素の合成四端子行列を表している。図中において、入口に対応するものを in と表示し、出口に対応するものを out と表示した。又、 p の文字の上部に \cdot が付されたものは圧力変動を、 u の文字の上部に \cdot が付されたものは流速変動を、 c は音速を、 s は音響要素の断面積を表す。

【0050】ステップ3：各要素をマトリクスで結び、全要素で決まる固有振動数を求める。

【0051】尚、もしも、燃焼器が振動燃焼する場合には、これらの固有振動数の内の何れかの振動数で振動することになる。

【0052】その結果、発振した周波数に対して、燃焼機器内の音圧分布（図4（b）、図5（b）参照）を求める。求められた固有振動数は固有振動数メモリ部に格納されこの結果を利用して音圧分布を求めるとよい。この時、 $|$ 圧力変動 $|$ 流速変動 $|$ により求められる音響インピーダンス（局所インピーダンスとも呼ぶ）として表す（図4（d）、図5（d）参照）と、圧力のピークがわかりやすくなる。また、圧力変動 $|$ 速度変動 $|$ の位相としても表す。これらの音圧 $|$ 速度、音響インピーダンス、圧力変動 $|$ 速度変動 $|$ の位相はそれぞれ音圧 $|$ 速度 $|$ 部、音響インピーダンス $|$ 部、位相 $|$ 部にメモリされる。

【0053】図4（a）～（e）は、全要素すなわち燃

14

焼器の入口・出口が音響的閉端の場合について、図5（a）～（e）は、燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合について示したものである。

【0054】具体的には、図4（a）は音響的閉端燃焼器の模式図であり、同図（b）は一次モードの圧力分布図を、同図（c）は流速分布（速度分布）図を、同図（d）は音響インピーダンスを、同図（e）は音響インピーダンスの位相の変化を、各々表している。

【0055】図5（a）は音響的閉端燃焼器の模式図であり、図5（b）～（e）は音響的閉端燃焼器についてのものであること以外は図4（b）～（e）と同じである。

【0056】閉端の一次モードでは、図4（b）に示すよう、入口から出口に向かう方向を基準として、圧力分布の節、腹（圧力のピーク値を示す部分）、節が現れる。又、閉端の一次モードでは、図5（b）に示すように、上記方向を基準として、圧力分布の節、腹が現れる。

【0057】このようにして、音響要素に分けられた燃焼機器について、図3に示す一次元の波動方程式により、燃焼器での発振周波数（固有振動数）を求めるわけである。発振周波数は基本周波数（一次モード）から n 次周波数（ n 次モード）まで求めることができる。この周波数は一般に固有振動と言われるものである。

【0058】尚、家庭用バーナを実験して調べた結果、3次モードまでの振動が確認された。そのため、計算は3次モードまででよい（図6（a）～（c）参照）。

又、燃焼室及び炎孔の負荷が大きいくほど、又、火炎が不安定なほど、高次の振動が確認されることもわかった。図6（a）～（c）は図4で説明した燃焼器のモデルについて3次モードまで計算した場合の、各モードにおける位相の変化と局所インピーダンスを表したものである。図4（a）～（e）、図5（a）～（e）は固有振動数、圧力 $|$ 速度 $|$ 部、局所インピーダンス $|$ 部、位相 $|$ 部、火炎位置 $|$ 部のデータを呼び込みグラフィック装置により表示したものである。ず6は局所インピーダンス $|$ 部と位相 $|$ 部を利用して表示している。

【0059】ステップ4：入力手段1により、演算手段2（図1参照）に燃焼器内の火炎の位置のデータとして、上述の距離 L 、及び L_1 を与える（図7、図8参照）。火炎の位置はバーナの構造、燃料の燃焼特性から予測可能であり、火炎位置演算手段を利用してもよい。演算結果は火炎位置メモリ部に格納され、計算された火炎位置のデータとして、上述の距離 L 、及び L_1 を与えてもよい。図7は燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合についての、図8は燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合についての燃焼器の模式図である。すなわち、図8の場合、図7とは異なり、 L_1 は給気管の入口82と火炎81との間の距離を示し、 L は排気管の出口83と火炎81との間の距離を示す。尚、図8で点線で表さ

15

れたものは、給気管84、排気管85の長さが長くなって、給気管の入口82の位置及び排気管の出口83の位置が変化した場合を示している。

【0060】ステップ5：入力された火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）に対して、ステップ3で求められた、例えば1次モードの固有振動数が発振するか否か、即ち振動燃焼が発生するか否かを調べる。ここで、（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）は、横軸に変数 L_1 を、縦軸に変数 L_2 を対応させた L_1 ・ L_2 の直交座標系における座標位置を表すものである。

【0061】ここで、振動燃焼の発生条件について説明する。

【0062】振動燃焼は、振動条件を満足するところの発振周波数で振動する。燃焼における振動条件としてレーリー振動条件が知られている。このレーリー振動条件を満足する場合に発振することになる。そこで、各発振周波数がレーリーの振動条件を満足するか否かを調べると発振するしないかが判断できる。この判断した結果は、振動メモリ部に格納され、この結果は振動メモリ部に格納される。

【0063】レーリーの発振条件は、火炎が音場の $1/*$

$$\oint \dot{p} \cdot \dot{h} dt > 0$$

【0070】これを解くと、 $\cos \theta > 0$ となる。

【0071】ここで、上述したとおり、 u の文字の上部に・が付されたものは流変動を表しているものとする。

【0072】そこで、図14に示すように、流変動と圧力変動との位相差を $\omega\tau_1$ 、流変動と発熱変動との位相差を $\omega\tau_2$ とすると、 θ は次式となる。

$$\theta = \omega\tau_1 - \omega\tau_2$$

定在波では、 $\omega\tau_1$ は $-\pi/2$ か $\pi/2$ となる。

【0074】今回初めて、実験により、家庭用燃焼機器において、 $\omega\tau_1$ は $-\pi < \omega\tau_1 < 0$

であることを確かめたものである。

【0075】ステップ6：与えられた火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）に対して、ステップ5での解析の結果が、振動燃焼が発生する旨を示す場合であれば、ステップ7へ進み、又、振動燃焼が発生しない旨を示す場合であれば、ステップ8へ進むべき旨が判定される。

【0076】ステップ7：ここでは、後述する振動エリアマップを作成するための情報として、火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）に対して、振動燃焼が発生する旨を示す情報（図9では、○印で表した）が付される。この時、 $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ をパラメータとして計算された結果をパラメ

(9)

特開平8-210635

16

*4波長の位置にあると発振するというものである。最近、この考え方が拡張され、発熱変動（図14において、 h の文字の上部に・が付されたものとして表示）が火炎前後で増幅作用があるが、時間遅れが生じる。この時間遅れは周波数が増加すると大きく、発振条件に影響すると言われるものである。

【0064】これに対して、今回、実験によりこの遅れは半波長以内であることを初めて見出した。レーリーの発振条件から、圧力のピークの上流側では発振する条件が導きだされる。

【0065】この条件を使って、本実施の形態でしめすように、振動が発生しない燃焼機器の設計ができる。

【0066】次に、上述の今回の実験により見いだした事実を理論的に説明する。

【0067】すなわち、燃焼機器での振動燃焼が発生する場合にはレーリーの発振条件を満足することが知られている。

【0068】これは、PUTNAMにより（数1）としてあらわされている。

【0069】

【数1】

\dot{p} ：圧力変動

\dot{h} ：発熱変動

$$\dot{p} = |\dot{p}| e^{j\omega t}$$

$$\dot{h} = |\dot{h}| e^{j(\omega t - \theta)}$$

ータ振動メモリ部に格納すると表示が便利である。そして、ステップ9へ進む。

【0077】ステップ8：ここでは、火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）に対して、振動燃焼が発生しない旨を示す情報（図9では、×印で表した）が付される。そして、ステップ9へ進む。

【0078】ステップ9：振動エリアマップ作成手段4が、火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）に対して、振動燃焼の有無を示す○印または、×印情報が付されたデータを用いて、 L_1 ・ L_2 の直交座標系にその○印または、×印をプロットする。一次モードにおいて、火炎の位置（ $L_{1,n}$, $L_{2,n}$ ）を変化させ、各々の位置について上記プロットを繰り返す。その結果は次々とエリアマップに記録される。

【0079】このようにして、図9（a）に示すような、火炎の上流側の長さの下流側の長さから振動エリアマップを作成する。圧力ピークの最大値の上流側では発振し、下流側では発振しないことになる。

【0080】このようにして基本周波数から n 次周波数までの振動エリアマップを作成する（図9（b））。

（c）参照）。この時、基本周波数から n 次周波数までの振動発生の有無をメモリしたパラメータ振動メモリ部から呼び出されたデータを基に振動エリアマップ作成手

(10)

特開平 8-210635

17

段4によりエリアマップを作成すると便利である。

【0081】図9(a)は、一次モードでの振動エリアマップを表しており、図中の左側から順に振動領域91と非振動領域92に分割されている。又、図9(b)は、二次モードでの振動エリアマップを表しており、振動領域93と非振動領域94と振動領域95とに分割されている。更に、図9(c)は、三次モードでの振動エリアマップを表しており、非振動領域96と振動領域97と非振動領域98と振動領域99とに分割されている。

【0082】このように、振動エリアマップでは振動する領域としない領域が示され、後述するように、振動燃焼しない領域を探すのに利用出来る。

【0083】ステップ10：要素の寸法をパラメータとして上述した計算等を繰り返し行なうことにより、振動燃焼しない燃焼機器を実現するための設計書が作成される。

【0084】次に、図15は本発明の別の実施の形態についての振動燃焼解析装置の構成図である。

【0085】図2において、火炎の位置はデータとして与えていたが、図15ではバーナの構造、燃焼条件から火炎の位置を計算する火炎位置演算手段141を装備している。また、図1の演算手段2に対して、固有振動数演算手段133と圧力/速度演算手段135と火炎位置演算手段141に分割されている。局所インピーダンス分布と位相分布はほぼ圧力/速度分布の演算手段と同等の演算手段で得られるため、局所インピーダンス演算手段136と位相演算手段137を圧力/速度演算手段135とひとまとめに示している。それぞれの演算手段に対して、メモリ部(固有振動数メモリ部134、圧力/速度メモリ部138、局所インピーダンスメモリ部139、位相メモリ部140)を連結している。圧力/速度演算手段135と局所インピーダンス演算手段136と位相演算手段137には固有振動数メモリ部138から、火炎位置演算手段141には圧力/速度メモリ部138から、振動発生解析手段143には火炎位置メモリ部142からそれぞれデータを取り込む。さらに、圧力/速度分布、局所インピーダンス分布、位相分布は各メモリ部(134、138、139、140、142、146)からのデータにより、グラフィック装置で表示される。

【0086】さらに、図15では、振動発生解析手段143により、火炎の位置をパラメータとして振動発生の有無を計算し、その結果をパラメータ振動メモリ部144に格納し、エリアマップ作成装置145からデータを取り込み、エリアマップを作成し、燃焼器の設計資料とする。

【0087】以上が本実施の形態の振動燃焼解析装置についての説明である。次に、この様な振動燃焼解析装置を用いた、燃焼器の設計例について述べながら、本発明の燃焼器の製造方法の一実施の形態を説明する。本発明

18

の製造方法という言葉は、設計方法を含む広い概念として用いている。

【0088】図10(a)～(d)は、燃焼器の設計段階で、火炎101を同図(a)に示す位置に設定した場合の各モードでの圧力分布図及び振動燃焼の有無を示す図である。振動エリアマップ上の黒丸は火炎の位置102を示しており、二次モード(同図(c)参照)では、非振動領域にあるが、その他のモードでは、全て振動領域にあることがわかる。従って、全てのモードで、振動しない領域を確保するためには火炎の位置を変更を必要とすることがわかる。

【0089】しかし、3次まで振動する場合には、振動しない領域を確保することが非常に難しくなる。

【0090】このような場合には、本実施の形態の解析装置を用いて、所定の周波数で振動する燃焼器を設計する。

【0091】すなわち、図11に示すように、燃焼器111の入口112と出口113を音響閉端にする。そうすると、振動エリアマップの全域が振動領域となり、一定の周波数で振動することになる。燃焼器の入口側に吸音材114を設置して、一定の周波数を吸音し、騒音発生を抑制するとともに振動燃焼を抑制することができる。

【0092】燃焼器によっては、振動のある方が、良い場合もあり、この場合には、騒音防止のために、音のみを積極的に抑圧すればよい。

【0093】図11は、音響的閉端燃焼器についての、燃焼器の模式図、圧力分布図、振動エリアマップを表している。同図からもわかるように、この場合、三次モードで全領域が振動領域となる。そこで、共振周波数である800Hz付近での吸音特性の優れた吸音材(図12参照)を上述のように配設することにより、図13に示すように、吸音材挿入前に800Hz近傍でピーク値131を待つ圧力変動が、吸音材挿入後には解消されていることがわかる。図12は吸音材(EPM)の垂直入射吸音率を管内法(JIS A 1405)で測定したものを示している。又、図13は、振動燃焼をFFT分析した結果を示している。

【0094】これにより、振動燃焼を抑制しつつ、低NOx、低騒音、高負荷、高TDRなどの性能を満たす燃焼器が本装置を用いたシミュレーションにより設計できる。

【0095】又、火炎の位置より上流側の長さや下流側長さを座標とする上記振動エリアマップから、振動する領域としない領域が求められることは上述の通りである。

【0096】給気管・排気管の長さを調整する場合等、この振動エリアマップを使い、燃焼機の最適な使用条件を求めることも出来る。すなわち、燃焼機の高性能を確保した上で振動燃焼の防止を可能に出来る。

【0097】このように、本実施の形態の燃焼器の製造

(11)

特開平 8-210635

19

方法によれば、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び／又は速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び／又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記燃焼器について振動燃焼が発生するかどうかを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記振動燃焼により発生する振動音を抑制する様に、前記燃焼器の所定部位に吸音部を設けるものである。

【0098】又、他の実施の形態の燃焼器の製造方法として、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定し、その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、圧力分布の節の位置から腹近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更するものでもよい。

【0099】また、他の製造方法として、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた速度分布とに基づいて、前記燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、前記求められた速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に前記火炎が存在する場合には、前記振動燃焼が発生すると判定し、又、前記間に前記火炎が存在しない場合には、前記振動燃焼が発生しないと判定し、その判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、速度分布の腹の位置から節近傍の位置に向かう間に、前記火炎が存在しない様に、その火炎の位置を変更するものもよい。さらに、他の製造方法として、少なくとも燃焼器の形状とその燃焼器内の音速度と混合気密度とを入力データとして入力し、前記入力データに基づいて、前記燃焼器の固有振動数を求め、その求められた各固有振動数に対する前記燃焼器内の圧力分布及び／又は速度分布を求め、得られた、前記燃焼器内の火炎の位置と、前記求められた圧力分布及び／又は速度分布とから所定の判定基準に基づいて、前記

20

燃焼器について振動燃焼が発生するかどうかを解析・判定し、その解析・判定の結果、前記振動燃焼が発生すると判定された場合、前記火炎と前記燃焼器の上流側入口部との間の実質的な距離、及び／又はその火炎と前記燃焼器の下流側出口部との間の実質的な距離を調整するものでもよい。

【0100】上記実施の形態によれば、入力データとして燃焼器の形状、寸法、温度、火炎の位置（あるいはバーナの位置から火炎の位置を計算する。）を選択し、固有振動数を計算し、固有振動数に近い周波数で（ $1/100\text{Hz}$ と異なる周波数）定在波の圧力、速度、音響インピーダンスを計算し、レーリーの振動条件から振動するかしないかを判断した。そして、振動エリアマップを作成し、振動しない領域で、燃焼器を作動させることが出来る。

【0101】このように、上記実施の形態によれば、振動燃焼の予測が可能となるため、設計段階で試行錯誤がなくなり、設計工数が削減される。さらに、高性能化を確保しながら、振動燃焼を防止することが可能となるので、燃焼器の高性能化を確保することができる。

【0102】又、本実施の形態では、レーリーの振動条件を計算できるように、発熱反応の位相遅れを導入し、この位相遅れは実験で半波長以内であることを見だし、波動方程式を解いた。このとき、1次元の方程式と音響要素を利用し、パソコンレベルで計算できるようにすることが望ましい。

【0103】又、本実施の形態では、（1）火炎の上流側で発振すること。（2）圧力分布、速度分布、音響インピーダンスを発振周波数の近傍で求めること。（3）振動エリアマップを求め燃焼器の設計段階及び、用段階で活用できること。（4）音響インピーダンスの立ち上がりでは、振動しない領域となること。（5）四次以上は発振しないこと等を示した。

【0104】尚、上記実施の形態では、演算手段で圧力分布を求め、それに基づいて燃焼振動の発生の有無を解析する場合を中心として説明したが、これに限らず、例えば、演算手段で、速度分布を求め、それに基づいて燃焼振動の発生の有無を解析する構成としてもよく（この場合は、腹と節の判定基準における関係が、圧力分布に基づく場合と逆になる）、あるいは、圧力分布及び速度分布の両方を求め、更に音響インピーダンスを求め、それに基づいて燃焼振動の発生の有無を解析する構成としてもよく、あるいは、音響インピーダンスの位相の変化に基づいて燃焼振動の発生の有無を解析する構成とする等、圧力分布や速度分布等と等価なものに基づいて解析する構成としてももちろんよい。このような構成とした場合でも、上記と同様の効果を発揮する。

【0105】又、上記実施の形態では、燃焼器として、家庭用燃焼器を用いた場合について説明したが、これに限らず、例えば、調理給湯暖房をはじめ産業用ガスター

(12)

特開平8-210635

21

ピンまで広く適用が可能であり、高効率熱交換器等へ利用することも出来る。

【0106】又、上記実施の形態では、振動エリアマップとして、燃焼器の入口部から出口部に向かう方向を基準として、圧力分布の節の位置から腹の位置に向かう間に火炎が存在する場合には、その領域を振動領域が発生するとして説明したが、これに限らず、例えば、腹の位置までの間ではなく、節から腹に至る距離の1割程度、腹から上流側へ遡った位置までの間に火炎が存在する場合に、その領域を振動領域が発生する領域をして扱う方がより現実に近い場合もある。これは、燃焼器自体による、吸音作用あるいは吸振作用が働くためである。従って、振動エリアマップにおける振動領域が、上記実施例より狭くなるものである。又、振動の強いものほど、振動エリアマップにおける振動領域が、上記実施の形態より狭くなる。

【0107】又、本発明の燃焼器の製造方法についての上記実施の形態では、圧力分布や速度分布を求める場合について説明したが、これに限らず例えば、局所インピーダンス（|圧力変動/速度変動|）により求められ、あるいは、圧力変動/速度変動の位相等を求め、これを利用する構成であってももちろんよい。

【0108】

【発明の効果】以上述べたところから明らかなように本発明は、振動燃焼が発生するかどうかの条件を事前に予測することが出来るという長所を有する。

【0109】又、本発明は、振動燃焼を抑制しつつ、低NOX、低騒音、高負荷、高TDRなどの特性を従来に比べてより一層高性能に確保出来るという長所を有する。

【0110】又、本発明は、従来に比べてより一層効率よく燃焼器を製造出来るという長所を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態の振動燃焼解析装置の構成図

【図2】本実施の形態のフローチャート

【図3】図3(a)：本実施の形態で用いる波動方程式を示す図

図3(b)：本実施の形態の音響要素の式を示す図

図3(c)：本実施の形態の音響要素の模式図

図3(d)：本実施の形態の全要素の式を示す図

【図4】図4(a)～(e)は、本実施の形態の全要素すなわち燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合につい

22

ての、音響的閉端燃焼器の模式図、一次モードの圧力分布図、速度分布図、音響インピーダンス、音響インピーダンスの位相の変化図

【図5】図5(a)～(e)は、本実施の形態の全要素すなわち燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合について、音響的閉端燃焼器の模式図、一次モードの圧力分布図、速度分布図、音響インピーダンス、音響インピーダンスの位相の変化を、各々表した図

【図6】図6(a)～(c)は図4で説明した燃焼器のモデルについて3次モードまで計算した場合の、各モードにおける位相の変化と局所インピーダンスの図

【図7】本実施の形態の燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合についての燃焼器の模式図

【図8】本実施の形態の燃焼器の入口・出口が音響的閉端の場合についての燃焼器の模式図

【図9】本実施の形態の、一次モード、二次モード、三次モードの各振動エリアマップの図

【図10】図10(a)～(d)は、本実施の形態での燃焼器の設計段階で、火炎101を同図(a)に示す位置に設定した場合における、一次モード～三次モードの各モードでの圧力分布図及び振動エリアマップの図

【図11】本実施の形態の音響的閉端燃焼器についての、燃焼器の模式図、圧力分布図、振動エリアマップの図

【図12】本実施の形態で用いる吸音材の吸音特性を示すグラフ

【図13】本実施の形態での振動燃焼をFFT分析した結果のグラフ

【図14】本実施の形態の流速変動と圧力変動との位相差、流速変動と発熱変動との位相差及び θ を示すグラフ

【図15】本発明の別の実施の形態の装置図

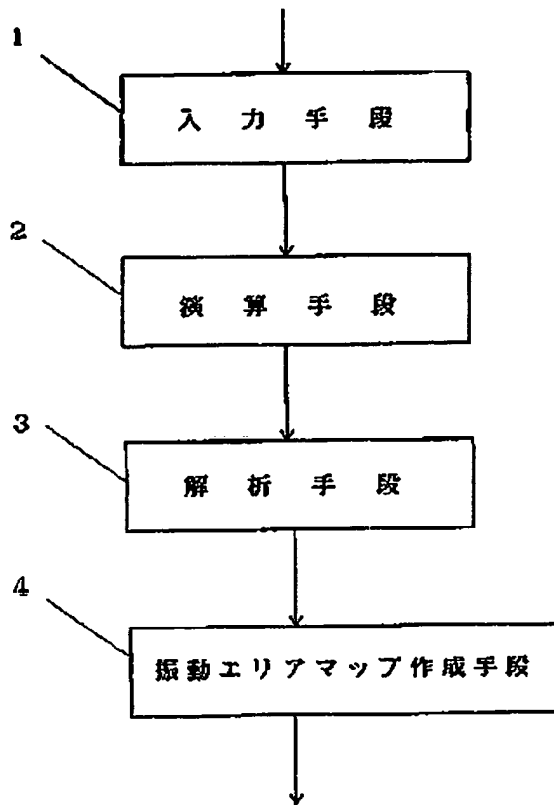
【符号の説明】

- | | |
|-----|--------------|
| 1 | 入力手段 |
| 2 | 演算手段 |
| 3 | 解析手段 |
| 4 | 振動エリアマップ作成手段 |
| 81 | 火炎 |
| 82 | 給気管の入口 |
| 83 | 排気管の出口 |
| 84 | 給気管 |
| 85 | 排気管 |
| 114 | 吸音材 |

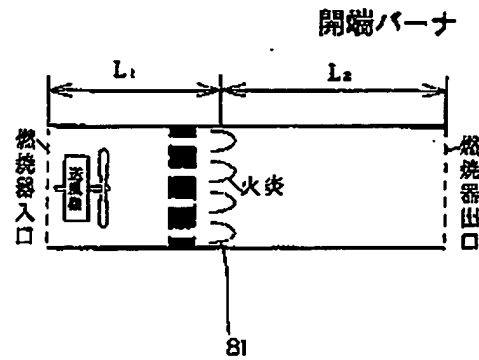
(13)

特開平8-210635

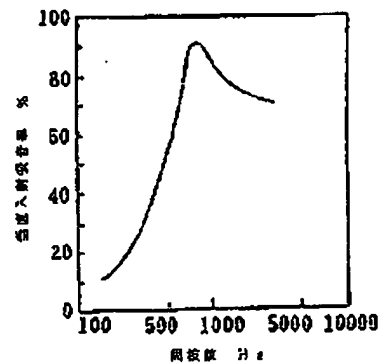
【図1】



【図7】



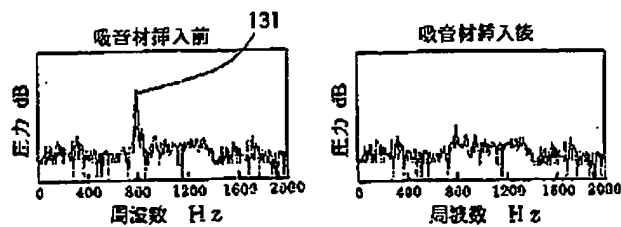
【図12】



吸音材 (EPDM) の吸音特性

【図13】

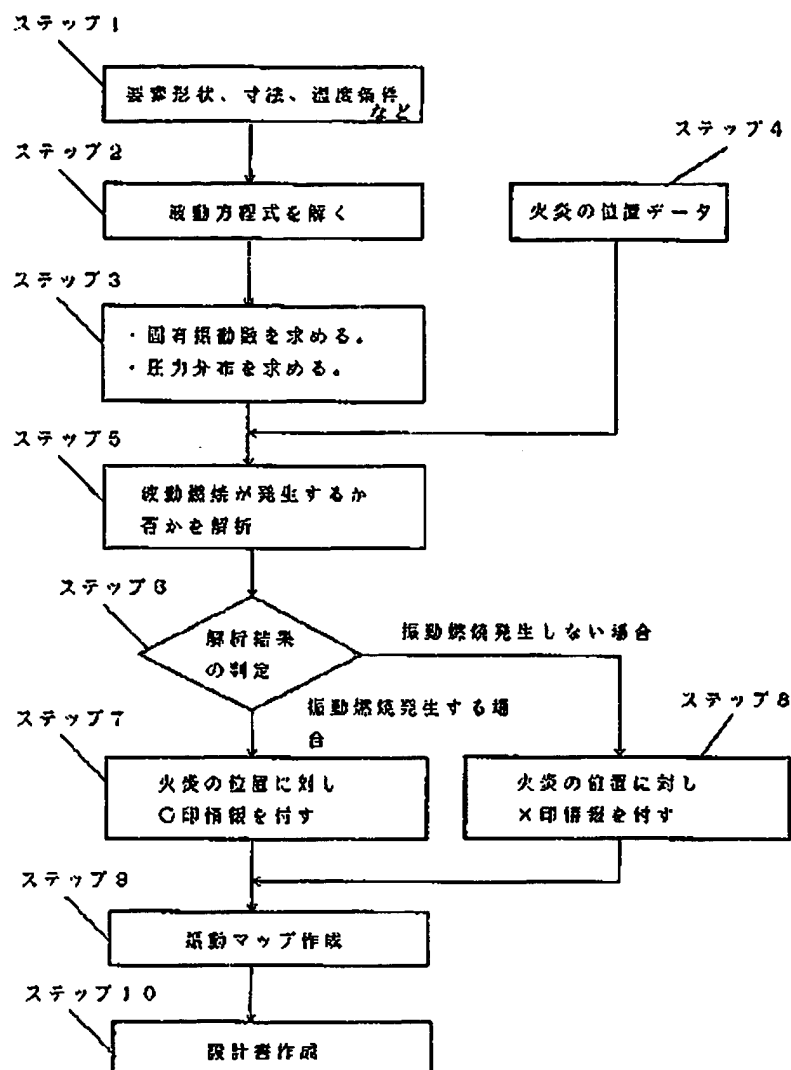
FFT分析



(14)

特開平8-210635

【図2】



(15)

特開平8-210635

【図3】

(a)

一次元（音響）波動方程式

p : 圧力

$$\partial^2 \phi / \partial t^2 = \partial^2 \phi / \partial x^2$$

t : 時間

$$\partial \phi / \partial t = -p / \rho$$

x : 位置

$$\partial \phi / \partial t = u$$

u : 速度

 ρ : 密度 ϕ : ポテンシャル

(b)

(音響)要素の式

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{in} \\ \dot{u}_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl & j(\rho c/s) \sin kl \\ j(s/\rho c) \sin kl & \cos kl \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p}_{out} \\ \dot{u}_{out} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p}_{out} \\ \dot{u}_{out} \end{bmatrix}$$

c : 音速

s : 断面積

l : 長さ

(c)

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{in} \\ \dot{u}_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p}_{out} \\ \dot{u}_{out} \end{bmatrix}$$

(d)

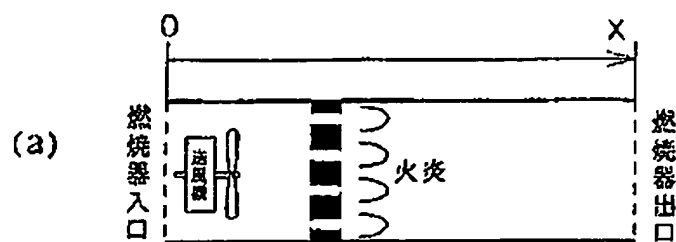
全要素の式

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{in} \\ \dot{u}_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p}_{out} \\ \dot{u}_{out} \end{bmatrix}$$

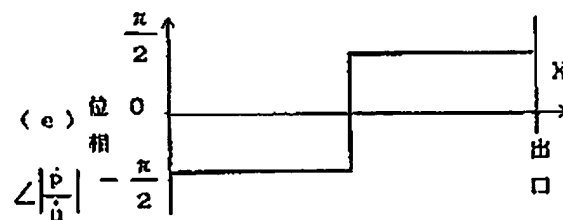
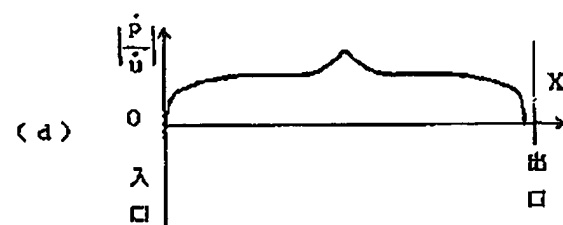
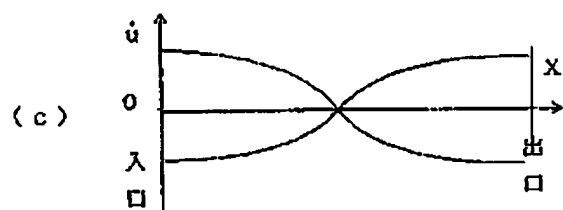
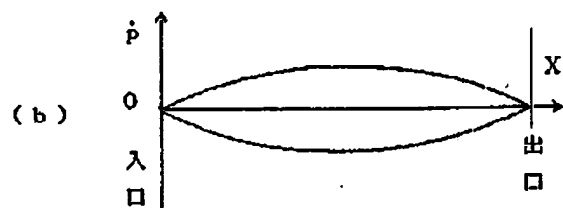
(15)

特開平8-210635

【図4】



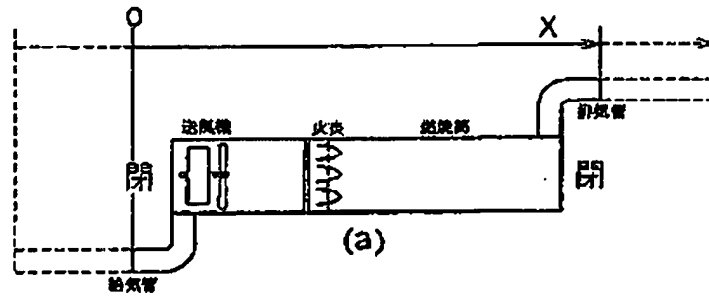
被動方程式の解（開端）



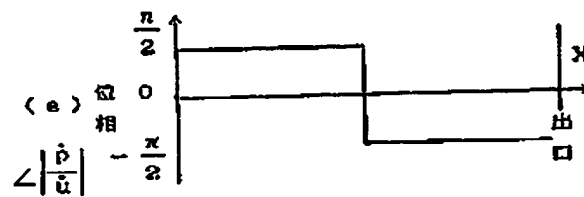
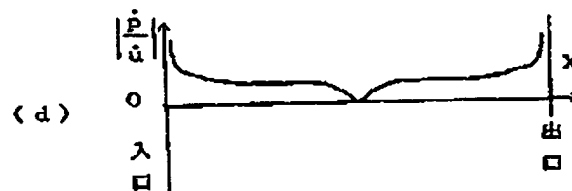
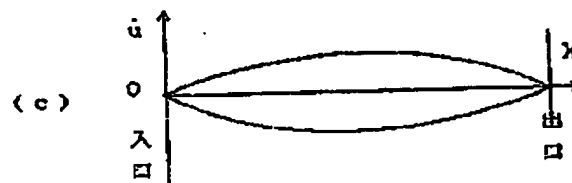
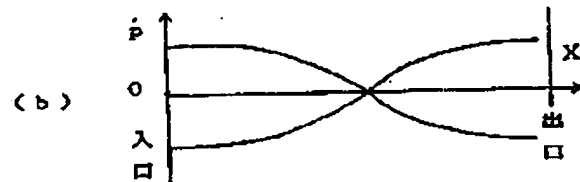
(17)

特開平8-210635

【図5】



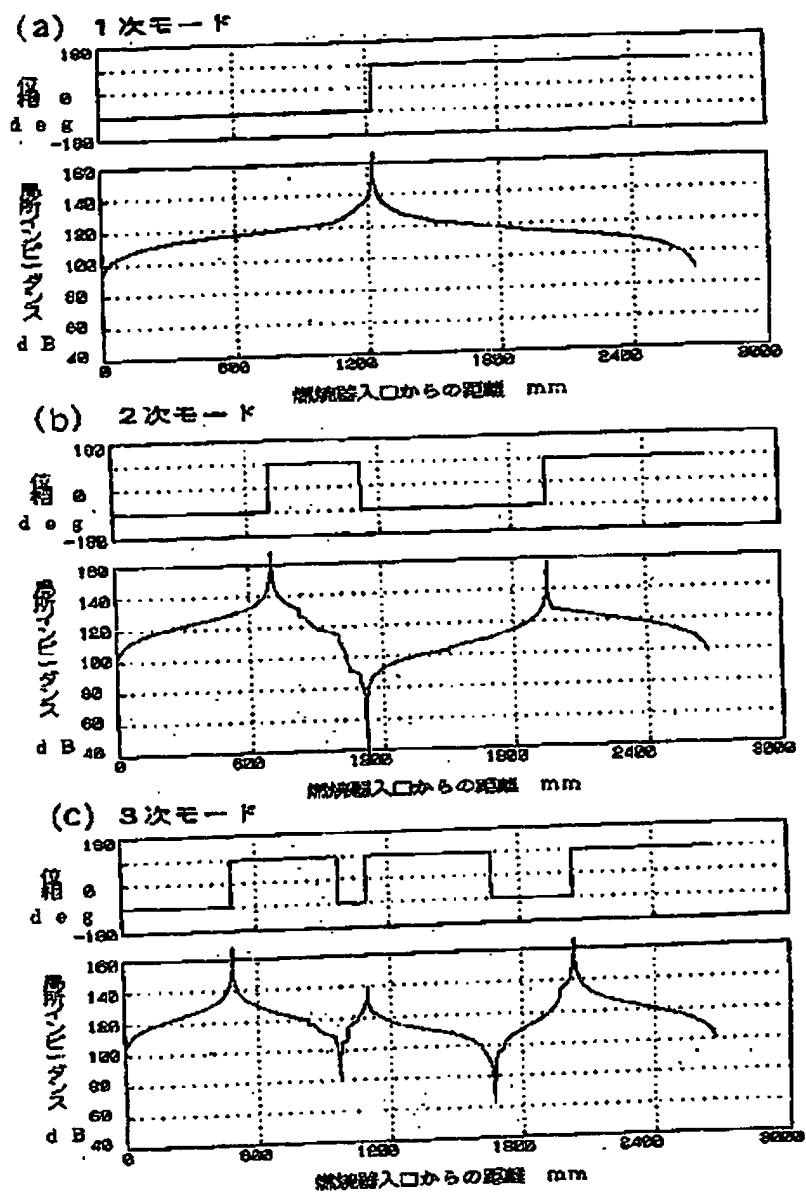
被動方程式の解（閉端）



(18)

特開平8-210635

【図6】

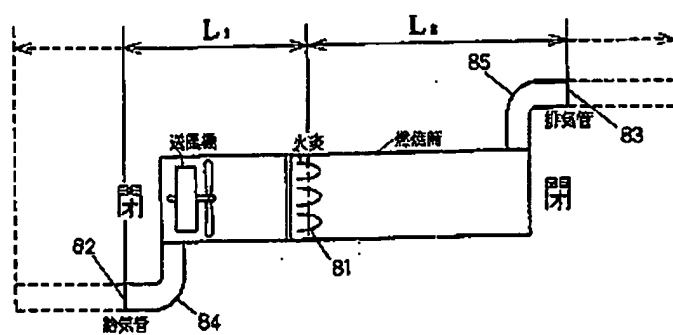


(19)

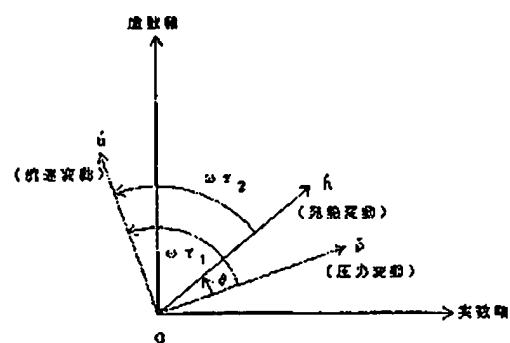
特開平8-210635

【図8】

閉端バーナ

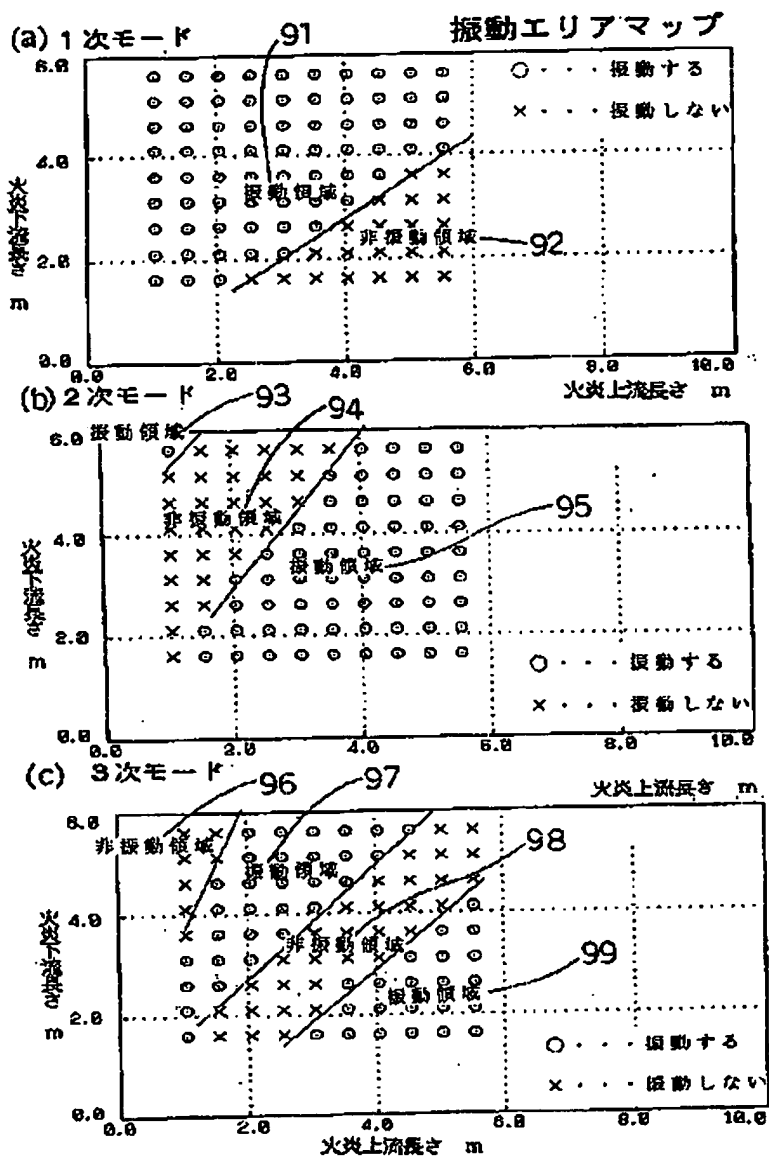


【図14】



特開平8-210635

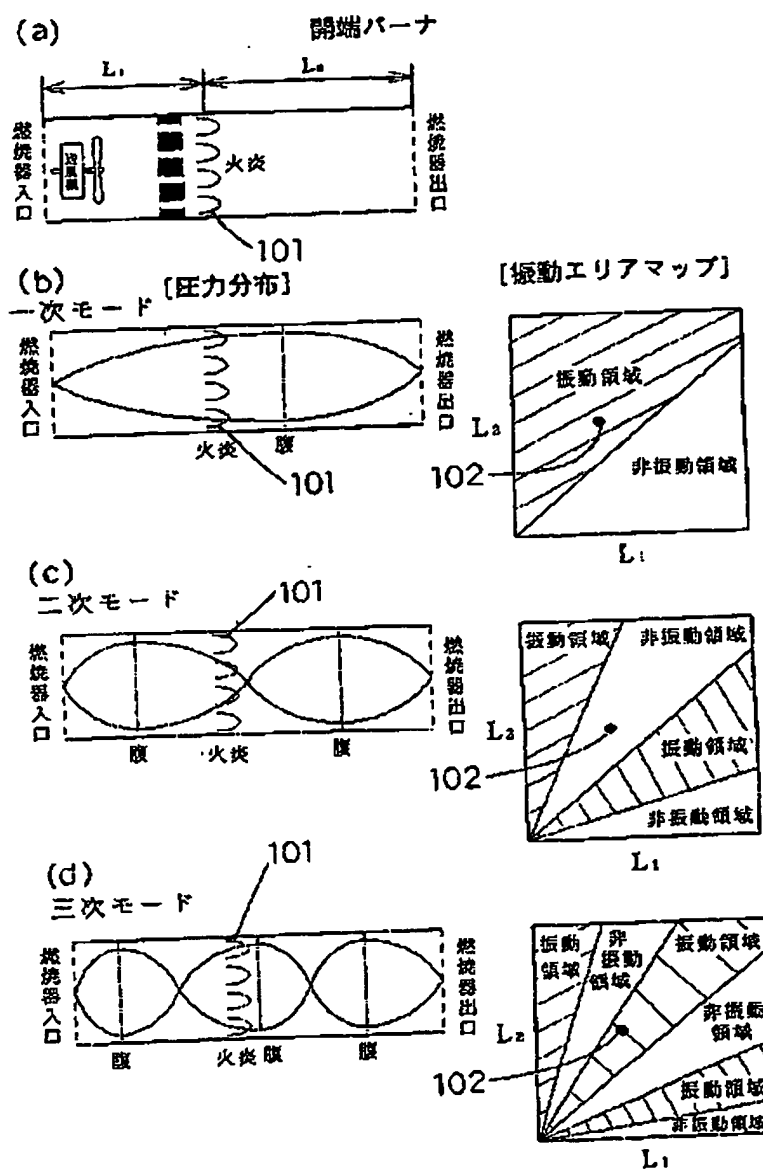
【圖9】



(21)

特開平8-210635

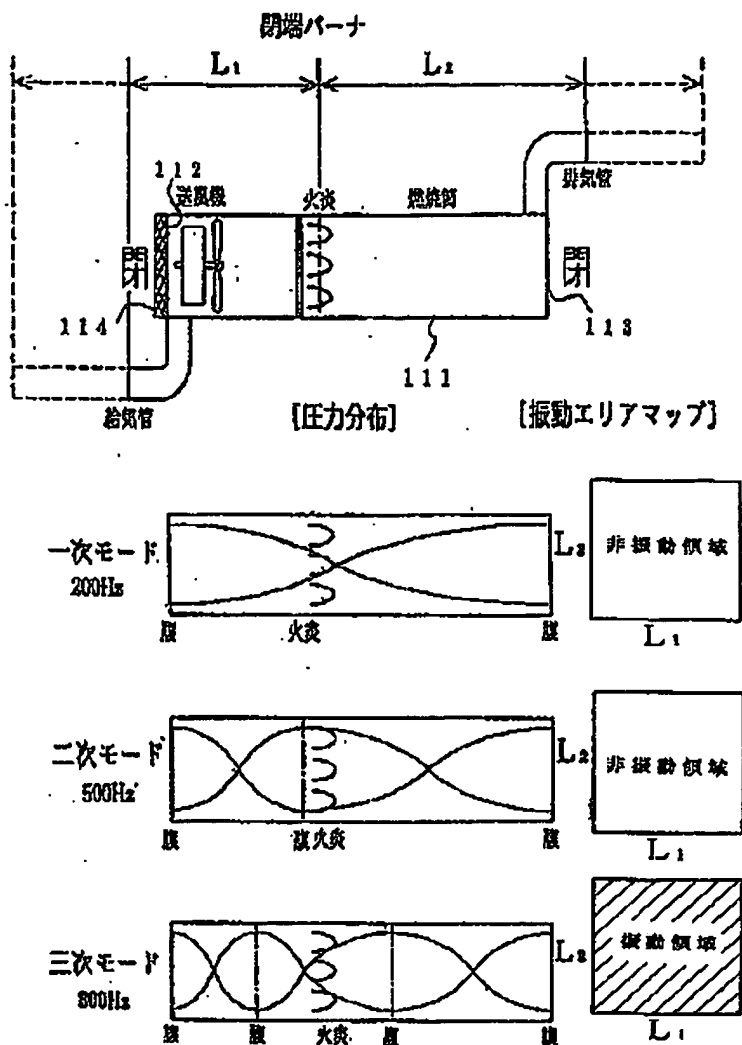
【図10】



(22)

特開平8-210635

【図11】



(23)

特開平8-210635

【図15】

